



Galileo fonctionnera avec 27 satellites en orbite  
© ESA - P. Carril

## Résumé

- Les applications fournies par les satellites en orbite autour de la Terre affectent le quotidien de chacun et impactent tous les secteurs d'activité. Les ruptures technologiques, à venir ou déjà réalisées, sont nombreuses, la concurrence est mondiale, les enjeux économiques et de souveraineté sont importants.
- Lors du conseil ministériel de l'Agence spatiale européenne (ESA), qui se tiendra les 27 et 28 novembre 2019 à Séville en Espagne, les États membres seront appelés à prendre des décisions majeures pour la décennie à venir.
- Dans cette perspective, il convient : d'assurer un équilibre des financements français, historiquement prioritaires sur les lanceurs, au bénéfice du soutien à l'innovation technologique des satellites et à l'aval de l'écosystème spatial ; et de clarifier, comme pour les lanceurs, la gouvernance européenne pour coordonner les moyens et maintenir un leadership scientifique et industriel.

M. Jean-Luc Fugit, Député

Comme cela a été décrit dans la note scientifique de l'Office n° 9, les lanceurs suscitent l'intérêt par l'image de conquête qu'ils renvoient au public et l'enjeu de souveraineté de l'accès à l'espace qu'ils représentent<sup>1</sup>. Les satellites, et surtout leurs applications, sont moins connus, alors qu'ils représentent une utilité économique et sociale considérable. Ils impactent tous les secteurs d'activité, modes de production et chaînes de valeurs, et nous profitons tous au quotidien de leurs services. Chaque utilisateur de *smartphone* utilise quotidiennement les services fournis par 40 satellites<sup>2</sup>.

### ■ Les grandes tendances économiques

La **valeur ajoutée** de l'écosystème spatial se situe essentiellement dans son aval, mais elle est difficilement mesurable et n'est pas représentative de son importance sociale. En particulier, la valeur économique estimée des activités institutionnelles est nettement inférieure à leur impact réel (recherche, observation, navigation, télécommunications militaires...)<sup>3</sup>.

Néanmoins, le marché des applications est indéniablement en croissance et porté par un cercle vertueux : les ruptures technologiques rendent disponibles toujours plus de données à un coût moindre, offrant ainsi de nouvelles possibilités de services qui suscitent des nouveaux besoins de données et donc *in fine* d'infrastructures spatiales<sup>4</sup>. En conséquence, la tendance est à l'intégration verticale des activités où l'aval devient prescripteur<sup>5</sup>.

### Chiffres clés du secteur spatial en 2018 (\*) :

- Aval : revenus commerciaux
  - **121,5 Mds€** : télécom. (+ **4,4 %** en 5 ans)
  - **115,8 Mds€** : navigation (+ **9 %** en 5 ans)
  - **4,2 Mds€** : obs. de la Terre (+ **16,2 %** en 5 ans)
- Amont : revenus commerciaux et institutionnels
  - **19,5 Mds€** : manufacture des satellites
  - **6,1 Mds€** : services et manufact. de lanceurs

(\*) Source : Euroconsult<sup>6</sup>

### ■ Des ruptures technologiques nombreuses

La conjonction du « *New Space* »<sup>7</sup> (ruptures technologiques, baisse du coût d'accès à l'espace, multiplication des acteurs publics et privés) et de la numérisation de l'économie (« *Big Data* »<sup>8</sup>, intelligence artificielle [IA]...) entraîne une série d'innovations technologiques majeures<sup>9</sup>. Le secteur spatial est à un tournant et évolue de façon très rapide.

Les satellites de télécommunication ont gagné en flexibilité et sont maintenant **reconfigurables**<sup>10</sup> grâce à des capacités embarquées de traitement et d'IA, pour s'adapter en temps réel aux demandes du marché, réajuster leurs missions au cours de leur existence, voire leur octroyer une seconde vie<sup>11</sup>. De ce fait,

le modèle de satellites fabriqués sur mesure et à la demande devient obsolète et leur production peut être standardisée et accélérée (18 mois au lieu de 3 à 5 ans) pour un grand nombre d'entre eux.

Par ailleurs, le développement des nanotechnologies et la miniaturisation des composants électroniques et mécaniques permettent la fabrication de satellites de taille et de masse réduites<sup>12</sup>. Par un véritable changement de paradigme, ces **petits satellites** produits en série, qui peuvent être lancés par « grappes » puis mis en orbite par propulsion électrique<sup>13</sup>, abaissent considérablement le coût d'accès à l'espace.

Ainsi, alors que le modèle était seulement constitué jusqu'au début des années 2010 de gros satellites géostationnaires pour la télédiffusion et les télécommunications de très grande capacité, ou en orbite basse pour l'observation de la Terre, la miniaturisation et la production en série des satellites à bas coût a entraîné, en complément<sup>14</sup>, des projets de **constellations** de petits satellites<sup>15</sup> en orbites MEO ou LEO<sup>16</sup>. Malgré une perte de capacités (précision, puissance), ces constellations présentent une faible latence<sup>17</sup> et une revisite plus fréquente<sup>18</sup>. Mais le modèle économique de ces constellations, qui nécessitent un très grand nombre de satellites pour être efficaces<sup>19</sup>, reste à construire et à optimiser.

#### Projets de constellations de petits satellites

##### ➤ Télécommunications

- O3B (déjà opérationnel) : 20 satellites MEO
- OneWeb : 648 satellites LEO
- Kuiper : 3 200 satellites LEO
- Leosat : 78 – 108 satellites LEO
- Starlink : 2 000 – 10 000 satellites LEO
- Telesat LEO : 117 – 300 satellites LEO
- Kineis (internet des objets) : 25 satellites LEO
- ELO (internet des objets) : 25 satellites LEO

##### ➤ Observation

- Blacksky : 60 satellites LEO
- Northstar (surv. de l'espace) : 40 satellites LEO

Enfin, les ruptures technologiques dans les instruments d'observation sont abondantes<sup>20</sup>. La miniaturisation et l'innovation technologique dans le domaine de **l'instrumentation embarquée** sont facteurs clés de compétitivité. Dans le domaine des télécommunications, la sécurisation de données par cryptage quantique et les télécommunications optiques<sup>21</sup> sont en cours de développement.

#### Des applications qui se multiplient

Les applications spatiales se multiplient : télécommunications, géolocalisation, observation de la Terre, météorologie et évolutions climatiques, surveillance

des infrastructures, défense et sécurité, mais aussi objets connectés, santé, villes intelligentes...

Les satellites font vivre aux **télécommunications** une rupture d'égale ampleur à celle connue il y a 30 ans avec l'arrivée de la téléphonie mobile et de l'internet<sup>22</sup>. La croissance soutenue des échanges de données renforce le besoin de satellites<sup>23</sup> et de leur couverture sur Terre, sur mer et dans les airs, comme solution intégrée à une infrastructure globale comprenant des technologies terrestres. Le développement des objets connectés<sup>24</sup> en accroît encore la nécessité<sup>25</sup>. L'internet par satellite, encore peu développé, permettra de couvrir les zones peu peuplées, éloignées ou difficiles d'accès pour lesquelles la fibre optique ou les antennes 4G/5G ne seront pas déployées car non rentables<sup>26</sup>. Les satellites de communication constituent donc une solution sérieuse pour fournir partout l'internet très haut débit au prix de la fibre optique, en particulier dans les zones rurales et en outre-mer<sup>27</sup>. En réduisant, voire en éliminant une fracture numérique qui risque d'augmenter avec la 5G terrestre, ils participent à l'aménagement du territoire<sup>28</sup>. Les télécommunications spatiales permettent également à de nombreux secteurs de se transformer, avec par exemple le développement de la télémédecine<sup>29</sup>.

Pour **l'observation de la Terre**, les satellites sont déjà indispensables au suivi de l'environnement et à la compréhension des évolutions climatiques<sup>30</sup> notamment grâce au programme européen Copernicus<sup>31</sup> : 35 variables climatiques essentielles sur 53 sont ainsi captées depuis l'espace<sup>32</sup>. Grâce aux observations spatiales, les prévisions météorologiques ont connu des progrès considérables<sup>33</sup> et à fort impact économique et stratégique. Les données d'imagerie spatiale ont par ailleurs pénétré un spectre très divers de domaines, dont l'agriculture<sup>34</sup>, la finance<sup>35</sup>, l'économie<sup>36</sup> et l'assurance<sup>37</sup>. De nombreuses missions spatiales innovantes sont en cours de développement pour obtenir de nouvelles données sur l'atmosphère et notre environnement, notamment les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub><sup>38</sup>.

L'utilisation de la **géolocalisation** se généralise dans tous les types de transports<sup>39</sup> : terrestre, maritime et aérien. Le système européen de géolocalisation Galileo, complété par EGNOS<sup>40</sup>, est désormais opérationnel pour tout possesseur d'un *smartphone* récent. Un milliard de terminaux avec puce Galileo ont déjà été vendus<sup>41</sup>. Le signal Galileo permet une précision bien supérieure à celle du système américain GPS (un mètre contre dix). Cette précision et la couverture complète permise par Galileo seront nécessaires pour le développement des voitures, navires et trains autonomes<sup>42</sup>. Dans le transport aérien, les satellites facilitent déjà la navigation et permettront l'aéroconnectivité pour les passagers et le pilotage, voire un jour la gestion du trafic aérien.

Le **segment sol**<sup>43</sup> du secteur spatial est absolument indispensable au développement des applications de satellites. La France est bien positionnée sur le segment de la commande et du contrôle des satellites, ainsi que sur celui du traitement des données scientifiques. En revanche, elle est quasiment absente sur le marché des terminaux « grand public » permettant à des clients de recevoir des données par télécommunication spatiale (internet par satellite...) <sup>44</sup>.

### ■ Un nouvel écosystème

Grâce au *cloud computing*<sup>45</sup>, il n'est plus nécessaire aujourd'hui de posséder des infrastructures coûteuses pour être en capacité d'exploiter des données spatiales. En outre, la baisse des coûts de construction permet l'émergence de nouveaux acteurs<sup>46</sup>. Cela permet le foisonnement d'un nouvel écosystème de **start-up**, qui s'ajoutent aux maîtres d'œuvre industriels historiques (« *primes* »)<sup>47</sup> et rend l'espace et ses applications accessibles à tous<sup>48</sup>.

Le comité de concertation État industrie sur l'espace (COSPACE)<sup>49</sup> a mis en place, depuis 2015, des structures d'accompagnement portées par des pôles de compétitivité, avec pour objectif d'identifier des projets de services numériques innovants utilisant des données spatiales. Sept « boosters »<sup>50</sup> ont ainsi été créés en France dans les territoires métropolitains et ultramarins, sur le modèle du programme *Satellite Applications Catapult* de l'Agence spatiale britannique. Ils sont particulièrement utiles pour croiser les filières spatiale, numérique et d'applications sectorielles<sup>51</sup>. Actuellement financés sur les budgets des pôles de compétitivité, les boosters gagneraient sûrement à disposer d'un financement spécifique.

Les agences spatiales mettent en place des actions de soutien à la recherche et technologie (R&T) et à l'innovation. L'ESA a créé 20 centres d'incubation (*Business Incubation Centres – BIC*) dans 17 pays européens<sup>52</sup>. Elle gère le programme ARTES qui soutient les projets d'entreprises privées dans les satellites de télécommunications et les applications satellitaires<sup>53</sup>. Doté depuis 2016 d'une direction de l'innovation, des applications et des sciences, le CNES a développé deux plates-formes d'aide à projet<sup>54</sup> et lancé l'initiative Connect-by-CNES pour accélérer la diffusion des technologies spatiales dans tous les secteurs<sup>55</sup>. Il participe à leur financement avec, par exemple, le soutien au fonds d'investissement CosmiCapital, dont l'objectif est de lever 100 millions d'euros<sup>56</sup>.

Par ailleurs, face aux capacités et aux financements américains et chinois considérables<sup>57</sup>, certains demandent l'établissement de mesures de protection<sup>58</sup>. Une **préférence européenne**<sup>59</sup> devrait être mise en place pour les commandes institutionnelles de satellites et l'achat de données spatiales<sup>60</sup>. Au-delà, dans

un marché compétitif et globalisé, il apparaît nécessaire de soutenir les filières industrielles et l'innovation, en renforçant leur compétitivité. Il s'agit d'aider au financement au moment de la prise de risque inhérente aux technologies de rupture. Seul un niveau d'investissement soutenu dans la R&D permettra à l'industrie européenne de conserver son *leadership*.

### ■ Les enjeux de souveraineté et de sécurité

La maîtrise des technologies clés est la condition du maintien d'un écosystème français et européen avec autonomie opérationnelle et contrôle de la source des données<sup>61</sup>. Des services de télécommunication par satellites constituent une solution de repli immédiat en cas de destruction des infrastructures terrestres (catastrophe naturelle, guerre, cyberattaque...) <sup>62</sup>.

La politique de données ouvertes (*open data*) en météorologie et en observation de la Terre présente des avantages évidents en termes de diffusion et de multiplication des applications. Mais les géants du numérique américains (GAFAM<sup>63</sup>) et chinois (BATX<sup>64</sup>), qui ont bien compris les enjeux des données spatiales, présentent un risque de captation de la valeur ajoutée. Il en est ainsi des données gratuites de Copernicus, financées par les contribuables européens. En effet, les GAFAM sont les plus performants dans le développement d'outils et de services d'IA et plus généralement de « *cloud* »<sup>65</sup> permettant de traiter efficacement les quantités massives de données d'imagerie spatiale<sup>66</sup>. Pour éviter une fuite vers l'étranger de la valeur ajoutée de ces données et protéger les utilisations les plus sensibles, il faudrait disposer en Europe d'un **cloud souverain** de grande capacité, qui permette à l'écosystème aval de traiter et gérer en toute indépendance les données spatiales<sup>67</sup>.

Une attention particulière doit être portée à la résilience des systèmes satellitaires, à la sécurité des données spatiales et au **respect de la vie privée** qui en découle, notamment en raison de la participation des GAFAM aux réseaux satellitaires. La dépendance aux systèmes spatiaux est réelle mais souvent méconnue. Un travail de fond est nécessaire pour l'évaluer et proposer des sécurités et des redondances (spatial/sol). Ici comme ailleurs, la **cybersécurité** doit être un souci constant.

### ■ Défense et protection de l'espace

Les technologies spatiales sont **duales**. Elles permettent à nos armées des communications sécurisées, du renseignement et de la navigation<sup>68</sup>. Malgré le traité assurant l'utilisation pacifique de l'espace<sup>69</sup>, nul n'est à l'abri des risques de piratage, de brouillage, d'éblouissement, de prise de contrôle à distance, ou encore de destruction de satellites<sup>70</sup>. Pour prendre en compte ces nouveaux risques, le Gouvernement envi-

sage un projet de révision de la loi de 2008 relative aux opérations spatiales (LOS)<sup>71</sup>, qui pourrait être soumis au Parlement en 2020<sup>72</sup>. Lors de son discours du 13 juillet 2019, le Président de la République Emmanuel Macron a annoncé la création d'une armée de l'air et de l'espace, avec un « grand commandement de l'espace »<sup>73</sup>.

Par ailleurs, le développement des méga-constellations privées accroît le risque de multiplication des **débris spatiaux** et de collisions<sup>74</sup>. Il devient urgent que les États définissent des règles communes (traité international par exemple) et les fassent respecter<sup>75</sup>, avec un financement approprié pour le « nettoyage » des milliers de débris présents sur les différentes orbites.

### ■ L'utilisation des fréquences radioélectriques

Les ondes radioélectriques (ou ondes hertziennes) sont au cœur du fonctionnement de l'ensemble des services satellitaires<sup>76</sup>. Mais le domaine spatial n'est pas le seul à se servir des ondes hertziennes, qui sont également indispensables aux télécommunications terrestres. Ces multiples utilisations impliquent une **coordination mondiale** des émissions gérée par l'Union internationale des télécommunications (UIT), afin d'éviter les situations de brouillage entre signaux. Il convient de s'assurer que les bandes de fréquences allouées à la 5G terrestre n'empiètent pas sur celles utilisées pour les services satellitaires actuels et futurs, notamment pour les projets de connectivité très haut débit des zones rurales ainsi que pour les observations météorologiques<sup>77</sup>. Par ailleurs, les fréquences pouvant être utilisées comme moyen de nuisance, la France gagnerait à se doter d'un outil civil de surveillance de l'utilisation des fréquences dans l'espace<sup>78</sup>.

### ■ La gouvernance

La gouvernance de la politique spatiale européenne est particulièrement complexe (administrations et entreprises)<sup>79</sup>, ce qui est parfois source d'inefficacité<sup>80</sup>. Certes, pour les satellites et leurs applications, la règle du **retour géographique** de l'ESA pose moins de problèmes que pour les lanceurs<sup>81</sup>, mais elle morcelle l'appareil de production industriel européen et les compétences et privilégie les intérêts nationaux par rapport à la compétitivité et à une ambition globale<sup>82</sup>. Une véritable vision européenne doit être privilégiée.

### ■ Les financements

Dans le cadre financier pluriannuel de l'Union européenne (2021–2027), la Commission européenne propose 16 milliards d'euros (contre 11 milliards entre 2014 et 2020) pour l'espace<sup>83</sup>. S'il est important d'assurer la continuité des programmes Galileo et Copernicus, on peut cependant regretter le peu de

ressources consacrées au développement de programmes innovants (3,1 %), dans une période pourtant de ruptures<sup>84</sup>.

Le **conseil ministériel de l'ESA** des 27 et 28 novembre 2019 sera l'occasion d'arbitrages budgétaires importants (2020–2022)<sup>85</sup>. En France, dans le cadre de la préparation du projet de loi de finances pour 2020 et de la programmation budgétaire triennale, le groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales (GIFAS) et le CNES ont identifié ensemble trois scénarios pour la contribution française à l'ESA (2020–2022), allant de 2,1 à 3,1 milliards d'euros<sup>86</sup>. Le scénario bas provoquerait, selon les industriels, des pertes irréversibles de compétences et d'emplois et l'abandon du *leadership* français sur le spatial européen. Il y a lieu de soutenir, dans la discussion budgétaire française, une contribution aussi proche que possible du montant supérieur (3,1 milliards d'euros), proche de ce que pourrait être le niveau de la contribution allemande. Il importera en particulier de s'assurer que les besoins identifiés par le COSPACE pour le soutien à la compétitivité du secteur industriel des télécommunications par satellites et des applications des satellites en général seront financés par les différents canaux budgétaires appropriés<sup>87</sup>.

### ■ Recommandations

En conclusion, les recommandations suivantes peuvent être formulées :

- organiser une **utilisation du spectre des fréquences** assurant que le développement des réseaux terrestres 5G n'obère ni les communications actuelles et futures par satellite, ni les capacités d'observations spatiales, notamment météorologiques ;
- renforcer notre stratégie spatiale de **défense** pour protéger nos satellites d'importance vitale et assurer la sécurité des données issues de l'espace ;
- définir un cadre juridique et technique favorisant l'exploitation des données européennes par des acteurs européens, et notamment disposer en Europe de **clouds souverains** de grande capacité ;
- assurer un **équilibre des financements publics** entre les grands domaines spatiaux, avec les lanceurs historiquement bénéficiaires de budgets importants<sup>88</sup>, et les satellites et l'aval de l'écosystème, qui sont les plus créateurs de valeur ;
- simplifier, clarifier et optimiser la **gouvernance** du spatial, dans une démarche coordonnée des entreprises, des agences spatiales nationales, de l'ESA et de l'Union européenne, pour la rendre plus efficace au service de notre *leadership* scientifique et industriel.

Sites Internet de l'OPECST :

<http://www.assemblee-nationale.fr/commissions/opecest-index.asp>

<http://www.senat.fr/opecest/>

## Experts auditionnés

---

M. Gilles BRÉGANT, directeur général, M. Eric FOURNIER, directeur de la planification du spectre et des affaires internationales, M. Thomas WELTER, chef du département réglementation et ressources orbite / spectre, Agence nationale des fréquences (ANFR)

M. Patrice BRUDIEU, conseiller espace du directeur général, chef du département politique spatiale et défense, Mme Christèle DONADINI, stratégie industrielle espace, M. Alban DUVERDIER, chef adjoint, Mme Isabelle BENEZETH, coordinatrice interministérielle Copernicus et GEO, service de la stratégie de la recherche et de l'innovation, direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI), ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (MESRI) et M. David COMBY, coordonnateur interministériel délégué pour les programmes GNSS européens, ministère de la transition écologique et solidaire (MTES/CGDD/DRI)

M. Léonard COX, vice-président affaires publiques et responsabilité sociale de l'entreprise (RSE), M. Tristan NITOT, vice-président « Advocacy », M. Gaël MUSQUET, hacker éthique, Qwant

M. Gilles DAWIDOWICZ, responsable de Google Maps Platform pour la France le Benelux et l'Afrique, Mme Floriane FAY, responsable relations institutionnelles, Google

M. Antoine DENOIX, directeur général d'AXA Climate, unité d'Axa Next

M. Olivier DUBUISSON, CEO de CapDecisif Management

M. Jean-Loïc GALLE, CEO Thales Alenia Space (TAS), M. Riadh CAMMOUN, VP Public & Regulatory Affairs

M. Jean Marc GARDIN, P-DG de Telespazio France et directeur général adjoint du groupe Telespazio

M. Pierre IZARD, directeur général délégué « système et technologies ferroviaires », Mme Laurence NION, conseillère parlementaire, M. Patrice LUCCIARDI, directeur de projets TECH4RAIL (direction innovation & recherche), SNCF

M. Philippe KECKHUT, directeur du laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (LATMOS), UMR du CNRS, de l'UVSQ et de Sorbonne université

M. Jean-Yves Le GALL, président du CNES, M. Gilles RABIN, directeur de l'innovation, des applications et des sciences, M. Pierre TRÉFOURET, directeur du cabinet du président

Mme Christine LEURQUIN, vice-présidente Relations publiques, SES, M. Alexandre DE MONTESQUIOU, directeur associé, AI2P, consultant pour SES

M. Phil MONBET, directeur adjoint du Pôle Mer Bretagne Atlantique, délégué général du booster Morespace

M. Alain RATIER, P-DG d'Eumetsat

Mme Magali VAISSIÈRE, directrice des télécommunications et des applications intégrées, chef du centre européen des applications spatiales et des télécommunications (ECSAT), et M. Christophe ALLEMAND, *Institutional Programmes Officer*, directions des télécommunications et applications intégrées, Agence spatiale européenne (ESA)

## Experts Consultés

---

Mme Florence FUSALBA, chargée des partenaires industriels pour l'aéronautique et le spatial, laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux (LITEN), CEA

M. Pierre LIONNET, Eurospace

Mme Corinne MAILLE, directrice générale adjointe, Telespazio France

M. Giao-Minh NGUYEN, Open Cosmos

M. Michel SCHELLER, président de l'Association aéronautique et astronautique de France (3AF)

## Visite sur le thème de l'espace à Toulouse les 2 et 3 octobre 2019

---

### CNES et autres acteurs spatiaux :

M. Jean-Claude Dardelet, vice-président de Toulouse Métropole, vice-président de la Cité de l'espace ; M. Jean-Baptiste Desbois, Directeur de la Cité de l'espace ; Mme Caroline Laurent, CNES, directrice des systèmes orbitaux ; M. Frédéric Pradeilles, CNES, chef d'établissement du centre spatial de Toulouse, directeur du numérique, de l'exploitation et des opérations ; M. Pierre Trefouret, CNES, directeur du cabinet du Président ; M. Jean-Claude Souyris, CNES, directeur adjoint de la Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science ; M. François Alter, CNES, chargé de mission à la direction financière ; M. Albert Cerro Thales Alenia Space (TAS), directeur du site de Toulouse ; M. Philippe Dandin, Météo France, centre de Toulouse ; Mme Stéphanie Limouzin, CLS (Collecte localisation satellites), directrice générale adjointe ; M. David Henri, Exotrail, cofondateur et PDG

### Airbus Defence & Space (ADS) :

M. Jean-Marc Nasr, président d'ADS, M. François Lombard, président d'Airbus Intelligence, M. Alain Wagner, directeur des ventes institutionnelles espace, ADS ; Mme Annick Perrimond du Breuil, directeur des relations avec le Parlement, direction des affaires publiques France, groupe Airbus

### Booster Nova du pôle de compétitivité Aerospace Valley :

M. Marc Péré, chargé de mission espace, M. Philippe Lattes, directeur délégué du secteur espace

## Contributions

---

Académie de l'air et de l'espace (AAE) ; Académie des technologies ; Association aéronautique et astronautique de France (3AF) ; Eutelsat ; Euroconsult ; groupe Orange

## Références

---

<sup>1</sup> Note scientifique sur « Les lanceurs spatiaux réutilisables » présentée au nom de l'OPECST par M. Jean-Luc Fugit en janvier 2019 : <http://www2.assemblee-nationale.fr/content/download/74092/759161/version/4/file/Lanceurs+r%C3%A9utilisablespages+V12.6.pdf>

<sup>2</sup> Visite du site Airbus Defence & Space (ADS) de Toulouse le 3 octobre 2019, déclaration de M. Alain Wagner.

<sup>3</sup> Une thèse sur le chiffrage de l'aval est en cours au bureau d'économie théorique et appliquée (BETA) à l'université de Strasbourg, avec cofinancement du CNES et de Telespazio.

<sup>4</sup> Selon Euroconsult, la masse totale de satellites lancés entre 2008 et 2017 s'élève à 2 223 tonnes (pour 1 019 satellites lancés). Les projections de la masse totale de satellites qui seront lancés sur la période 2018 – 2027 s'élèvent à 3 069 tonnes (pour 3 323 satellites), soit un taux de croissance de 38 % de la masse totale lancée et trois fois plus de satellites mis en orbite. Source : Euroconsult Satellites to be built and launched, 2018 Edition.

<sup>5</sup> Selon un modèle « as a service ».

<sup>6</sup> Sources : Satnav - Euroconsult Satellite Value Chain (using the public report from the GSA called the GNSS Market Report), 2018 Edition ; EO - Euroconsult Satellite-based Earth Observation Market Prospects, 2019 Edition ; Satcom - Euroconsult Satellite Connectivity and Video Markets Survey, 2019 Edition (<http://www.euroconsult-ec.com/>)

<sup>7</sup> Nouvelle économie spatiale.

<sup>8</sup> Données massives ou « mégadonnées ».

<sup>9</sup> Consultation de Mme Corinne Mailles, Telespazio.

<sup>10</sup> Par exemple : le satellite Eutelsat Quantum construit par ADS ; les satellites SES17 et Konnect VHTS développés par Thales Alenia Space (TAS).

<sup>11</sup> Les interactions avec les satellites en orbite (ravitaillement ou refueling, réparations dans l'espace...) vont potentiellement se généraliser, notamment grâce à l'impression 3D, particulièrement adaptée pour produire des pièces complexes de petite série et de rechange dans l'espace. Il faut néanmoins rester prudent, car la faisabilité technique ainsi que le modèle économique de ce modèle ne sont pas encore démontrés.

<sup>12</sup> On parle de minisatellites quand leur masse est inférieure à 500 kg, de microsatsellites en dessous de 100 kg et de nanosatellites en dessous de 10 kg.

<sup>13</sup> C'est ainsi que sont lancées les constellations de Starlink et OneWeb. D'autres technologies existent, avec des lanceurs dédiés. Les lancements par grappes effectués avec de gros lanceurs offrent un coût réduit mais une faible précision, compensée par la propulsion électrique qui réajuste le positionnement orbital. Les petits lanceurs, dédiés aux petits satellites, comme ceux de Rocket Lab, sont précis mais plus chers. On voit donc que l'évolution des satellites a des conséquences concrètes sur la configuration des lanceurs.

<sup>14</sup> Tout laisse à penser que l'infrastructure satellitaire future mêlera constellations et satellites géostationnaires, tant pour le marché commercial qu'institutionnel.

<sup>15</sup> Contribution d'Euroconsult : « Entre 2009 et 2018, le nombre moyen de petits satellites lancés par an (moins de 500 kg) était de 147. Le top 3 des applications pour ces petits satellites (en pourcentage du nombre total lancé sur la période) était : technologie (40 %), observation de la Terre (35 %) et information (13 %). Entre 2019 et 2028, le nombre moyen de petits satellites lancés par an (moins de 500 kg) est estimé à 859. Le top 3 des applications pour ces petits satellites (en pourcentage du nombre total à lancer sur la période) sera : satellites de télécommunications (49 %), observation de la Terre (19 %) et information (14 %). » Les applications dites de « technologie » regroupent toutes les missions de R&D dont le but est de tester les nouvelles technologies. Les applications d'« information » concernent les satellites dont la mission est la communication de satellite à satellite (Machine to machine – M2M) et la collecte de données provenant de capteurs terrestres, aériens et atmosphériques.

<sup>16</sup> – GEO (Geostationary Earth Orbit ou Geosynchronous Equatorial Orbit) : orbite géostationnaire, à 35 786 km de la Terre.

– LEO (Low Earth Orbit) : orbites basses généralement entre 500 et 1 000 km ;

– MEO (Medium Earth Orbit) : orbites intermédiaires traditionnellement autour de 20 000 km (GPS, Galileo...), mais d'autres altitudes peuvent être utilisées (la nouvelle constellation O3B est par exemple en orbite MEO à 8 000 km d'altitude).

[http://www.cnes-csg.fr/automne\\_modules\\_files/standard/public/p10688\\_2fd578009e14ecf8e083c10a877b6060CNESMAG-Poster-GEO-MEO-LEO-v2.pdf](http://www.cnes-csg.fr/automne_modules_files/standard/public/p10688_2fd578009e14ecf8e083c10a877b6060CNESMAG-Poster-GEO-MEO-LEO-v2.pdf)

<sup>17</sup> La faible latence (délai de transmission) est une qualité importante pour les télécommunications.

<sup>18</sup> La revisite fréquente permet d'augmenter la qualité des données obtenues par les satellites d'observation.

Audition de M. Philippe Keckhut, directeur du laboratoire LATMOS (UMR8190), vice-président Innovation de l'université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines UVSQ : « L'approche « Nanosatellites » et « IA » représente une rupture historique. La réduction des coûts de lancement apparaît comme un levier de compétitivité majeur pour la mise en œuvre de systèmes spatiaux miniaturisés. Dès lors, le développement de nanosatellites de quelques kilos représente une formidable opportunité technologique et scientifique. Ces petites plates-formes, associées à des capteurs miniaturisés, ont permis une

---

démocratisation de l'accès à l'espace et le développement de mission en quelques années. La fabrication de capteurs peut être réalisée dans des universités et laboratoires de recherche. Cependant, ces nouvelles technologies nécessitent une expertise de très haut niveau, propice à la mise en place de collaborations entre les organismes de recherche et secteur privé.

Les questions scientifiques d'aujourd'hui nécessitent de réaliser des observations de la Terre en plusieurs points du globe simultanément et en couvrant plusieurs parties du cycle diurne ; ce qui seule permet une constellation de satellites. L'IA appliquée aux données satellites permet d'imaginer une nouvelle ère pour l'observation de la Terre. Cela permet de prendre en compte les biais de mesures, dérives et non-linéarités et donc d'éviter de complexifier et alourdir les dispositifs de mesures en orbite et obtenir des performances globales similaires à celles de plus gros satellites. »

<sup>19</sup> Le nombre de satellites requis pour le fonctionnement d'une constellation dépend fortement de l'altitude de son orbite. Ainsi les constellations en orbite MEO nécessitent beaucoup moins de satellites (moins de 100) que la plupart des constellations LEO (plusieurs centaines de satellites, voire des milliers). En outre, ces satellites ont une durée de vie plus faible et nécessitent donc d'être remplacés plus fréquemment.

<sup>20</sup> Observation dans le domaine de l'hyperspectral ; développement de capteurs optiques permettant une résolution allant jusqu'à 30 cm ; très grands miroirs permettant de l'observation depuis l'orbite géostationnaire ; et de manière générale, amélioration de la revisite et de la précision des satellites d'observation.

<sup>21</sup> Les télécommunications optiques spatiales sont une catégorie de télécommunications spatiales reposant sur l'utilisation de laser (infrarouge) pour la transmission de données. Elles présentent les avantages d'une puissance réduite nécessaire à la transmission, de risques d'interférence réduits et d'une plus grande rapidité de transmission. En revanche, elles impliquent une extrême précision de pointage et sont sensibles aux perturbations de l'atmosphère (nuages...). Le haut débit permis par ces communications leur donne un intérêt pour les liaisons sol-bord et pour celles entre satellites d'une même constellation. Les premiers essais datent de 2001 mais la technologie est encore au stade de l'expérimentation. La France est un des leaders dans ce domaine.

<sup>22</sup> Audition de M. François Alter, CNES.

<sup>23</sup> Audition de Mme Christine Leurquin, SES.

<sup>24</sup> Note scientifique sur « Les objets connectés » présentée au nom de l'OPECST par M. Didier Baichère en mars 2018 : <http://www2.assemblee-nationale.fr/content/download/65396/664019/version/8/file/note+1+-+4+pages+objets+connectes.pdf>

<sup>25</sup> En s'appuyant sur des objets connectés hybrides dont les informations peuvent être captées aussi bien par des réseaux terrestres que par satellite, Sigfox intégrera, au-delà des 65 pays qu'il couvre déjà, une couverture mondiale apportée par la constellation ELO d'Eutelsat (<https://www.sigfox.com/en>). Le projet Kinéis, porté par CLS et soutenu par TAS, s'appuie sur une constellation de 25 nanosatellites utilisant une technologie de communication inédite et qui sera placée en orbite en 2022 (<https://www.kineis.com>).

<sup>26</sup> Contribution de l'Académie des Technologies relative aux coûts pour l'opérateur : « En France, un coût de connexion jusqu'à quatre fois moindres par rapport à la fibre optique dans les zones peu denses (1 000 euros pour le satellite par rapport à 4 000 euros en moyenne pour la fibre pour connecter les derniers 5 % de la population française ne l'ayant pas – c'est-à-dire 1,5 million de foyers ; à noter que le coût d'accès à la fibre augmente de manière exponentielle pour les tout derniers foyers à raccorder). »

<sup>27</sup> Après l'échec commercial des satellites de télécommunication de première génération de Globalstar ou d'Iridium, les nouvelles générations de satellites de télécommunications devraient permettre de fournir l'internet très haut débit dans tous les territoires au prix de la fibre optique, en particulier dans les zones rurales métropolitaines et en outre-mer.

La France est déjà couverte par l'offre de Nordnet (filiale d'Orange) d'internet haut débit par satellites (qui s'appuie sur les satellites Astraconnect opérés par SES et le satellite KA-SAT opéré par Eutelsat), certes avec forte latence, bande passante offrant des débits jusqu'à 22 Mb/s en réception (et jusqu'à 30 Mb/s pour les professionnels) et prix néanmoins équivalents aux offres terrestres (<https://www.nordnet.com/connexion-internet/internet-satellite>). Une contribution d'Orange donne des précisions sur le coût de raccordement à l'internet par satellite, qui est réduit pour le client final grâce aux subventions portées par l'État et les collectivités territoriales : « Le montant qui reste à la charge du client final pour son raccordement à l'internet par satellite, s'établit entre 330 euros HT et 530 euros HT, selon que le client décide d'acquérir son kit de connexion (valeur env. 330 euros HT) et de l'installer lui-même (comme 50 % des abonnés) ou de le faire installer par un antenniste professionnel (valeur env. 200 euros HT). Ces coûts supportés par l'utilisateur final peuvent être partiellement ou totalement gommés du fait de l'aide de l'État (au titre de son dispositif de « cohésion numérique des territoires » : (<https://www.aménagement-numerique.gouv.fr/fr/comment-beneficier-dune-offre-cohesion-numerique>) et/ou de subventions locales portées par les collectivités territoriales (<https://www.nordnet.com/internet-satellite/national>)). »

Eutelsat développe un système satellitaire géostationnaire de dernière génération de très haute capacité baptisé KCONNECT VHTS destiné au très haut débit fixe par satellite et à la connectivité en vol des avions commerciaux en Europe (<https://www.eutelsat.com/fr/sites/eutelsat-internet/home/satellites/future-launches.html#kconnect>) ; le satellite, dont l'entrée en service est prévue en 2022, sera construit par TAS et distribué par Orange et Thales (<https://www.thalesgroup.com/fr/monde/espace/press-release/eutelsat-commande-kconnect-vhts-un-satellite-de-nouvelle-generation-pour>).

<sup>28</sup> Le Plan France très haut débit (<https://www.francethd.fr/>) en a montré l'importance pour les entreprises, les professionnels de santé, l'éducation et l'apprentissage, la culture et le divertissement.

<sup>29</sup> En France, le MEDES (Institut de médecine et de physiologie spatiale (MEDES), la filiale santé du CNES, utilise les télécommunications spatiales pour faire de la télémédecine fixe ou de la télé-imagerie médicale mobile (camions) : <http://www.medes.fr/fr/index.html>.

<sup>30</sup> L'application Starling d'ADS permet de suivre l'évolution des forêts ; elle permet par exemple de tracer et de certifier les cultures d'huile de palme pour les grands groupes alimentaires (<https://www.intelligence-airbusds.com/en/8273-airbus-and-partners-launch-starling-satellite-service-after-successful-pilot-phase-with-ferrero-and-nestle>). Le projet ALMACEN de CLS permet de lutter contre la délinquance environnementale et en particulier les trafics illicites (pêches illégales, trafics, transbordements...) impliquant le secteur maritime (<https://www.cls.fr/cls-pret-a-relever-defi-de-croissance-bleue/>). Des outils existent également pour la surveillance et les secours en cas de catastrophe naturelle, comme le Service régional de traitement d'image et de télé-détection (SERTIT) du laboratoire ICube à Strasbourg (<https://plateforme.icube.unistra.fr/sertit/index.php/Accueil>).

<sup>31</sup> Copernicus : 7 satellites sont déjà en orbite et 12 le seront prochainement. 6 services opérationnels de surveillance de l'environnement sont mis à disposition des utilisateurs de Copernicus. Par exemple, Mercator océan international opère le service d'océanographie opérationnelle. La chimie atmosphérique et le changement climatique sont confiés à ECMWF.

<sup>32</sup> Audition de M. Alain Ratier, Eumetsat.

---

<sup>33</sup> Audition de M. Alain Ratier, Eumetsat : « Les satellites météorologiques géostationnaires ont permis d'améliorer sensiblement la précision des prévisions des phénomènes locaux à développement rapide, tandis que les satellites en orbite polaire et les progrès des modèles numériques ont fait gagner 4 jours d'échéance en 20 ans à la prévision globale, la fiabilité à une semaine étant celle à 2-3 jours il y a 20 ans. Les prévisions de l'océan et de la composition atmosphérique sont également devenues opérationnelles grâce aux satellites Copernicus ».

<sup>34</sup> Les satellites accompagnent le développement d'une agriculture de précision avec l'épandage maîtrisé en quantité et en surface des produits phytosanitaires. 18 000 agriculteurs se sont ainsi abonnés à l'application FarmStar d'ADS, qui permet d'optimiser les rendements en exploitant des données spatiales et aériennes : <https://www.myfarmstar.com/>. Toujours développée par ADS, l'application Assurance Prairies permet de protéger les fourrages. Il conviendrait de pouvoir utiliser ces outils satellitaires pour le contrôle de la politique agricole commune (PAC) et sa mutation environnementale.

<sup>35</sup> Par exemple, la société américaine Orbital Insight (<https://orbitalinsight.com/products/go-energy/>) renseigne sur les quantités de pétrole stockées dans différents pays et notamment en Chine, ce qui a des conséquences sur le cours du prix du baril.

<sup>36</sup> Avec une précision optique de 30 cm, il devient possible de compter le nombre de voitures dans le parking d'un supermarché, et donc d'estimer en temps réel son chiffre d'affaires.

<sup>37</sup> L'unité Axa Climate de l'assureur Axa utilise les observations spatiales pour assurer ses clients agriculteurs contre des aléas climatiques selon un modèle d'assurance paramétrique. Ce modèle repose sur des données produites en continu (capteurs météorologiques, données d'observation spatiale...) qui déclenchent une indemnisation instantanée lorsqu'une anomalie est détectée (grêle, tempête...).

<sup>38</sup> Six missions de haute priorité du programme Copernicus sont en cours de développement : une mission d'identification des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>, trois missions pour le suivi des zones polaires, une mission pour la biodiversité et une dernière pour l'agriculture. Les satellites Sentinel 4 et 5 de Copernicus seront dévolus à la mesure de la qualité de l'air, de l'ozone stratosphérique, du rayonnement solaire. ([https://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-4\\_and\\_-5](https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-4_and_-5)).

Au niveau français, les projets MicroCarb (<https://microcarb.cnes.fr/fr/microcarb/en-resume/accueil>) et MERLIN (Methane Remote Sensing Lidar Mission) (<https://merlin.cnes.fr/fr>) du CNES, visant à mesurer la répartition du CO<sub>2</sub> et du méthane à l'échelle planétaire, contribueront à cartographier les sources et puits. Il est prévu que ces programmes soient technologiquement prêts en 2024 et opérationnels vers 2030, avec une intégration dans de futurs satellites Sentinel, pour par exemple aider à la mise en place d'une fiscalité carbone et au respect des engagements internationaux.

<sup>39</sup> Les applications de la géolocalisation sont diverses, par exemple la gestion de flotte, de camions et de containers.

<sup>40</sup> EGNOS : European Geostationary Navigation Overlay Service. Il s'agit d'un service complémentaire européen de navigation par satellites géostationnaires, qui a été développé par TAS.

<sup>41</sup> Audition de M. Jean-Loïc Galle, Thales Alenia Space.

<sup>42</sup> La SNCF s'est associée au CNES pour les utilisations ferroviaires des données satellitaires (collaboration qui s'inscrit dans le cadre du programme d'innovation de la SNCF, lancé en 2016 et dénommé Tech4Rail : <https://tech.sncf.com/programme/tech4rail/>) : positionnement précis des trains, qui permettrait d'avoir « 20 % de trains de plus en circulation » (audition de M. Pierre Izard, SNCF, et M. Patrice Luccardi, Tech4Rail, SNCF) et de gagner en sécurité et en coût (environ 100 millions d'euros d'économies attendues d'après David Comby, du MTES) ; imagerie par satellite pour optimiser la surveillance du réseau ferré (végétation, risques hydrologiques, surveillance fine des déformations du ballast avec une précision inférieure au centimètre...); et dans une moindre mesure, télécommunications, pour les passagers et équipages. Les gains générés par ces solutions pourraient modifier sensiblement l'équation économique de certaines lignes ferroviaires.

<sup>43</sup> Les infrastructures et services terrestres sont en effet indispensables pour contrôler et commander les satellites en orbite, ainsi que pour exploiter les données qu'ils fournissent (recueil et traitement de données d'observation, réception de télécommunications...).

<sup>44</sup> Audition de M. Alban Duverdiér, MESRI.

<sup>45</sup> Le cloud computing consiste à fournir un ensemble de services informatiques (par exemple des capacités de stockage et d'analyse de données), au travers de serveurs mis à disposition des clients à distance.

<sup>46</sup> Des étudiants conçoivent des nanosatellites, des « hackers éthiques » (audition des responsables de Qwant) développent des solutions spatiales avec un budget modeste...

<sup>47</sup> En Europe, les deux constructeurs historiques de satellites sont Airbus Defence and Space (ADS) et Thales Alenia Space (TAS). ADS opère dans l'amont (construction de satellites) et dans l'aval (opérations) de la filière. Les groupes Thales et Leonardo (italien) ont créé ensemble deux filiales, TAS pour la construction et Telespazio pour les opérations. Il existe enfin un dernier constructeur de satellite européen, Orbitale Hochttechnologie Bremen (OHB).

<sup>48</sup> Ainsi, la société française Qwant contribue et encourage divers projets ouverts ou participatifs : OpenPilot (logiciel libre de pilote automatique pour véhicule autonome), OpenStreetMap (communauté de 5 millions de contributeurs dans le monde pour une carte libre et gratuite), SatNOGS (observation communautaire des satellites).

<sup>49</sup> Le comité de concertation Etat-industrie sur l'espace (COSPACE) a été lancé par en 2013 par la ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche Mme Geneviève Fioraso. Il regroupe tous les acteurs publics et privés de l'écosystème spatial (représentants des ministères concernés, CNES, GIFAS, industriels allant des maîtres d'œuvre aux PME, opérateurs, fournisseurs de services). Sa mission est d'établir des propositions concertées pour l'avenir du spatial français.

<sup>50</sup> <http://boosters-cospace.fr/decouvrir-le-programme-boosters/>

<sup>51</sup> Booster **Morespace** en Bretagne sur la thématique maritime ; booster **Nova** à Toulouse, Bordeaux et Montpellier sur la croissance bleue, l'énergie, les smart cities, l'agriculture, la maîtrise de l'espace et du cadre de vie et les économies du Sud ; le booster **Space4Earth** en Région Sud sur les thèmes sécurité, ecotechnologies, services mobiles liés à la géolocalisation et les smart cities (transports intelligents, énergie, villes durables...); booster **Seine Espace** sur l'axe Seine-Normandie pour développer de nouveaux services dans les secteurs ville et mobilité, logistique, gestion intelligente de l'énergie, climatologie, environnement, loisirs, éducation... ; booster **CENTAURA** en région Auvergne-Rhône-Alpes sur le partage de connaissance et la vulgarisation (contenus numériques, data visualisation) et l'aménagement du territoire (montagne, tourisme) ; booster **Morpho** en Guyane sur les ressources naturelles (énergies renouvelables, lutte contre la déforestation...) et les téléapplications dans l'agriculture et la santé ; booster **Rhinespace** à Strasbourg-Mulhouse-Colmar sur les usages durables et intelligents sur les territoires denses et sur les filières régionales (mobilités innovantes, eau, énergie, urbanisme et infrastructures) : <http://boosters-cospace.fr/les-7-boosters/>

<sup>52</sup> [https://www.esa.int/Our\\_Activities/Telecommunications\\_Integrated\\_Applications/Business\\_Incubation/ESA\\_Business\\_Incubation\\_Centres12](https://www.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/Business_Incubation/ESA_Business_Incubation_Centres12)



---

En France, les centres d'incubation sont : « Sud France » (Nouvelle Aquitaine, Occitanie, Auvergne Rhône Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur) et « Nord France » (Bretagne, Pays de Loire, Normandie, Île-de-France, Hauts-de-France et Grand Est).

<sup>53</sup> Advanced Research in Telecommunications Systems : <https://artes.esa.int/>

<sup>54</sup> Plates-formes CESARS pour les télécommunications et Lab-OT pour l'observation de la Terre, à destination d'entreprises, d'opérateurs d'importance vitale (OIV) ou de ministères.

<sup>55</sup> Ses ingénieurs soutiennent nombre de projets développés dans les boosters, les incubateurs, les accélérateurs... À destination des chercheurs et des start-up, le CNES organise des concours, des réunions (Hackathon, Hackers & Makers) : <https://entreprises.cnes.fr/fr/connect-cnes>

<sup>56</sup> Audition de M. Olivier Dubuisson, CEO de CapDecisif Management : <https://cosmiccapital.com/>

<sup>57</sup> Selon Eurospace, l'investissement public mondial consacré en 2018 au secteur spatial se répartissait ainsi : 44 milliards de dollars par les États-Unis ; 9 milliards de dollars par l'Europe ; 8 milliards de dollars par la Chine ; 3 milliards de dollars par le Japon ; 1,5 milliard de dollars par la Russie ; 1,5 milliard de dollars par l'Inde. Au total, les investissements publics mondiaux s'élevaient à environ 70 milliards de dollars.

<sup>58</sup> Contribution de l'Académie des technologies.

<sup>59</sup> Longtemps rejetée, une préférence européenne pour les lanceurs spatiaux pourrait enfin voir le jour avec la proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil établissant le programme spatial de l'Union et l'Agence de l'Union européenne pour le programme spatial (COM/2018/447 final), qui est en cours de discussion ; son article 5, dans sa rédaction actuelle, réaffirme le principe d'un accès autonome à l'espace (soutien institutionnel des activités de lancement).

<sup>60</sup> De même, les filiales d'entreprises non européennes ne devraient pas pouvoir bénéficier de financements publics européens pour les développements et les achats.

<sup>61</sup> Le fait de disposer d'« opérateurs de confiance » européens (ADS, TAS...) permet de tracer les informations et d'assurer leur intégrité et leur mobilisation prioritaire en cas de besoin urgent.

<sup>62</sup> Ainsi, le dispositif EUMETCast participe à la résilience de l'Europe et représente un complément dans le traitement de l'alerte. Pour les Jeux olympiques de 2024, la société Qwant participe à un appel à projet de l'ANR pour prouver qu'une alerte multicanal est possible en cas de crise.

<sup>63</sup> GAFAM : Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft.

<sup>64</sup> BATX : Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi.

<sup>65</sup> Avec notamment stockage massif et fortes capacités de calcul associées.

<sup>66</sup> L'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA) se prépare à mettre ses données sur plusieurs plates-formes des GAFAM, Amazon va bientôt proposer l'ensemble des données de la NASA et d'US Geological Survey (satellites Landsat). Google propose son infrastructure Google Earth Engine, avec un algorithme visant à aider les scientifiques ou les sociétés de services spatiaux à développer des chaînes de traitement sur ses moyens et ses données. Malgré les efforts de la Commission européenne, la plate-forme européenne d'accès aux données de Copernicus (Data and Information Access Services – DIAS) peine à concurrencer celles des GAFAM.

<sup>67</sup> Contribution de l'Académie des technologies : « Il faut insister sur la nécessité de voir l'ESA et Bruxelles travailler main dans la main sur ces thèmes afin de définir et mettre en pratique un cadre juridique (et technique) pouvant protéger les données "européennes" et en favoriser l'exploitation prioritairement par des acteurs européens. »

<sup>68</sup> Le système mondial de radionavigation par satellite issu du programme Galileo offre cinq services, parmi lesquels un « service public réglementé » (ou « public regulated service », soit PRS) réservé aux utilisateurs autorisés par les gouvernements pour des applications sensibles qui exigent un contrôle d'accès efficace et un niveau élevé de continuité de services (décision n° 1104/2011/UE du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2011 relative aux modalités d'accès au service public réglementé offert par le système mondial de radionavigation par satellite issu du programme Galileo : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011D1104&from=FR>).

<sup>69</sup> Loi n° 70-514 du 19 juin 1970 autorisant la ratification du traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, du 27 janvier 1967 : <http://www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11F.pdf>

<sup>70</sup> Le satellite espion russe Luch-Olymp, en 2018, s'est ainsi approché du satellite franco-italien Athena-Fidus pour en pirater les communications ; depuis, il s'est approché de huit autres satellites appartenant à différents pays...

<sup>71</sup> Loi n° 2008-518 du 3 juin 2008 relative aux opérations spatiales.

<sup>72</sup> Cette révision, menée par le MESRI avec le soutien du ministère des armées, permettrait également de donner à ce dernier une plus grande autonomie de décision.

<sup>73</sup> <https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2019/07/13/discours-aux-armees-a-lhotel-de-brienne>.

La ministre des armées Florence Parly a présenté la stratégie spatiale de défense le 25 juillet 2019. Sur la durée de la loi de programmation militaire, elle a annoncé une rallonge budgétaire de 700 millions d'euros, en complément des 3,6 milliards d'euros déjà prévus pour le renouvellement des capacités satellitaires, pour notamment financer des programmes de modernisation des systèmes de surveillance de l'espace (Graves, Tarot, Geotracker), le ballon stratosphérique Stratobus de Thales, des nanosatellites patrouilleurs ou encore le volet défense de la constellation Kineis : <https://www.defense.gouv.fr/salle-de-presse/discours/discours-de-florence-parly/discours-de-florence-parly-presentation-de-la-strategie-spatiale-de-defense>

<sup>74</sup> Audition de MM. Jean-Loïc Galle et Riadh Cammoun, TAS : 500 000 objets de plus de 1 centimètre volent dans l'espace et, compte tenu de leur vitesse, peuvent détruire des satellites de 5 tonnes. Visite au site ADS de Toulouse : les opérateurs de satellites (Eutelsat, SES, Inmarsat...) procèdent en moyenne une fois par semaine à une manœuvre d'évitement.

<sup>75</sup> Responsabilité, qualité, surveillance, gestion de fin de vie...

<sup>76</sup> Les ondes hertziennes sont utilisées pour toutes les télécommunications spatiales et sont également essentielles aux systèmes de géolocalisation. Par ailleurs, les ondes hertziennes contenues dans le rayonnement naturel de la Terre et de l'Univers sont analysées par les satellites d'observation.

<sup>77</sup> La prochaine conférence mondiale des radiocommunications (CMR-19) se tient en novembre 2019 en Égypte. Les CMR, qui se tiennent tous les quatre ans, ont pour but d'apporter des amendements au règlement des radiocommunications, le traité international qui régit l'utilisation du spectre des ondes hertziennes. L'attribution des fréquences pour la 5G terrestre est dans l'agenda de la CMR-19 ; il conviendra de s'assurer que la planification du spectre se fera conformément aux préconisations qui seront faites lors de cette conférence.

---

<sup>78</sup> En 2012 et en 2013, les satellites de la société française Eutelsat ont subi de nombreuses attaques de brouillage et de piratage provenant de territoires syriens et iraniens, l'objectif ayant été de perturber la diffusion de chaînes de télévision internationales.

<sup>79</sup> Agences spatiales nationales, Agence spatiale européenne (ESA), Commission européenne (DG GROW), Agence du GNSS européen (GSA), qui deviendrait l'Agence de l'Union européenne pour le programme spatial, industriels (ArianeGroup, Airbus Defence & Space – ADS, Thales Alenia Space – TAS, Telespazio, Orbitale Hochtechnologie Bremen – OHB...). Voir la proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil, en cours de discussion, établissant le programme spatial de l'Union et l'Agence de l'Union européenne pour le programme spatial : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A52018PC0447>.

<sup>80</sup> L'Europe dispose de deux maîtres d'œuvre industriels (« primes »), ADS et TAS, pour la construction de satellites. Certes la concurrence est saine pour les acheteurs publics et privés, pour rester compétitif, mais il convient d'éviter les doublons de capacité de développement en recherchant des complémentarités technologiques, en évitant l'acharnement sur les marchés extérieurs au risque de marges nulles. Par ailleurs, l'ESA et la Commission européenne privilégiant la mise en concurrence, un rapprochement ADS/TAS pourrait faire le jeu d'OHB, le concurrent allemand.

<sup>81</sup> Dans le programme ARTES, la règle du retour géographique s'applique a posteriori, après sélection compétitive des équipementiers, et n'est donc pas un obstacle à la compétitivité de l'offre commerciale. Environ 90 % des activités sont à l'initiative de l'industrie qui les cofinance et décide de leur organisation. Chaque État décide de l'allocation de sa souscription aux activités et en supervise l'exécution.

<sup>82</sup> Les satellites offrent en effet la possibilité à l'Europe de répondre à des nouveaux besoins institutionnels en développant des grandes infrastructures paneuropéennes (pour la gestion du trafic aérien et maritime notamment), et en renforçant leur résilience.

<sup>83</sup> Il y aura également des financements de R&D spatiale dans le cadre du programme cadre de recherche et d'innovation (Horizon Europe), pour un montant de l'ordre de 1,3 à 1,5 milliard d'euros.

<sup>84</sup> 16 milliards d'euros entre 2021 et 2027 : 9,7 milliards pour Galileo et EGNOS ; 5,8 milliards pour Copernicus, qui pourrait se voir confier une nouvelle mission sur le changement climatique ; 500 millions seraient consacrés à l'amélioration des performances, à l'autonomie de la surveillance de l'espace (programme SSA) et au développement de télécommunications gouvernementales sécurisées par satellite (programme Govsatcom).

<sup>85</sup> L'ESA propose un budget triennal de 12,5 milliards d'euros dont 2,5 milliards pour les dépenses « obligatoires » (programmes scientifiques et fonctionnement pour un montant de dépenses obligatoires qui se monte à 4,3 milliards d'euros sur 5 ans.). Le budget du programme optionnel se décompose selon : 2,7 milliards pour réussir le passage d'Ariane 5 à Ariane 6 et préparer les évolutions futures ; 2 milliards pour le financement de la station spatiale internationale (SSI) et l'exploration sur Mars et la Lune ; 2,3 milliards pour soutenir les programmes d'observation spatiale ; 1,5 milliard pour les programmes de télécommunications et 1,5 milliard pour d'autres programmes (sécurité, navigation, GSTP et PRODEX).

<sup>86</sup> Le scénario à 2,1 milliards d'euros était le seul compatible avec le projet de loi de finances initial pour 2019.

<sup>87</sup> L'ESA estime en particulier que la contribution de la France au programme ARTES devrait être portée à 350 millions d'euros, à comparer à la contribution britannique estimée à 400 - 450 millions et une contribution allemande en croissance. Elle fait remarquer que plus de 60 % des emplois européens du secteur des satellites de télécommunication sont situés en France, alors que notre pays ne finance que 16 % du programme ARTES. Elle avance que les règles de fonctionnement du retour géographique font que le pays qui contribue le plus à un projet voit affecter à ses industriels le développement des préséries, avec donc un avantage indéniable pour la commercialisation des séries fabriquées. L'Agence souligne qu'en phase d'innovation accélérée et de transformation profonde du secteur, il n'existe plus aucune position acquise et que le maintien du leadership français en Europe à l'horizon 2025 dépendra du bon niveau d'investissement R&D sur la période à venir, une période clé pour l'avenir de l'ensemble du secteur

Le CNES pointe, pour sa part, les délicats arbitrages entre thématiques (lanceurs, télécommunications, observation de la Terre, navigation, exploration, science de l'univers...), alors que les besoins sont croissants dans tous les domaines, dans un contexte de pleine mutation et de compétition mondiale accrue. Il estime qu'une contribution de la France au programme ARTES doit être complémentaire aux instruments nationaux (CNES et PIA).

<sup>88</sup> La part de la contribution française dans le budget de l'ESA consacré au programme de lanceur Ariane 6 est de l'ordre de 55 % ; le coût total du programme Ariane 6 (et du développement du propulseur P120C) étant estimé à 3,7 milliards d'euros sur cinq ans (2015-2019), cette contribution est d'environ 2 milliards d'euros. En comparaison, lors du conseil ministériel de 2016, la France a souscrit à 16 % du budget triennal dédié au programme ARTES, qui s'élève à un total d'environ 1,3 milliards d'euros ; cela correspond à une souscription française de 200 millions d'euros.